

**KAJIAN EXPERIMENTAL PENYIMPANGAN GEOMETRI
PADA MESIN 3D PRINTING**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh:

Jilan Rahmawan Satriani S

222411911



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MANUFAKTUR
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

Kajian Experimental Peyimpangan Geometri Pada Mesin 3D Printing

Oleh:

Jilan Rahmawan Satriani Sutisna
222411911

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 28 AGUSTUS 2025

Disetujui,

Pembimbing I,



Dr. Herman Budi Harja, ST., M.T.

NIP. 1967902022008101001

Pembimbing II,



Haris Setiawan, S.S.T., M.T.

NIP. 197512042001121001

Disahkan,

Ketua Penguji,



Febby Fauziah, S.Tr.T, M.T.

NIP. 199803022025062005

Anggota Penguji I,



Siti H. Yuningsih, S.Si., M.Mat.

NIP. 199606212024062001

Anggota Penguji II,



Novi Saksono B. M., S.T., M.T.

NIP. 196711251992031002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Jilan Rahmawan Satriani Sutisna
NIM : 222411911
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Kajian Experimental Penyimpangan Geometri Pada Mesin 3D Printing

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 21 Juli 2025
Yang Menyatakan,



(Jilan Rahmawan Satriani S)
NIM 222411911

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Jilan Rahmawan Satriani Sutisna
NIM : 222411911
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Kajian Experimental Penyimpangan Geometri Pada Mesin 3D Printing

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaannya berada di bawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 21 Juli 2025
Yang Menyatakan,



(Jilan Rahmawan Satriani S)
NIM 222411911

MOTO PRIBADI

The Only Source of Knowledge Is Experience

(Albert Einstein)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas berkat rahmat, karunia dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan karya tulis Tugas Akhir ini yang berjudul “Kajian Experimental Penyimpangan Geometri Pada Mesin 3D Printing” merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Diploma IV di Politeknik Manufaktur Bandung.

Tugas akhir ini dapat terselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan dan penyusunan tugas akhir ini, khususnya kepada:

1. Allah SWT yang selama ini telah memberikan rahmat, karunia, kesempatan dan kesehatan sehingga penulis masih bisa diberikan kemampuan oleh-Nya.
2. Kedua Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan moril dan materil yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Yth. Dr. Herman Budi Harja, ST., MT, selaku pembimbing 1 yang telah memberikan banyak bimbingan, masukan, petunjuk, serta meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dan kesempatan kepada penulis sehingga dapat terwujudnya tugas akhir ini.
4. Yth. Alm. Ismet P Ilyas, BSMET., M.Eng.Sc., Ph.D. selaku pembimbing 2 yang telah memberikan banyak bimbingan, masukan, petunjuk, serta meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dan kesempatan kepada penulis sehingga dapat terwujudnya tugas akhir ini.
5. Yth. Haris Setiawan, S.S.T., M.T. selaku pembimbing 3 yang telah memberikan banyak bimbingan, masukan, petunjuk, serta meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dan kesempatan kepada penulis sehingga dapat terwujudnya tugas akhir ini.
6. Rekan-rekan Diploma IV alih jenjang MEG Angkatan 2022 yang telah mendukung penulis serta atas kerja selama menempuh pendidikan di Politeknik Manufaktur Bandung.

7. Kepada saudara Angga Dika, Ghessan Shiddiq, Husein Haikal, Pr. Luvi Daffa dan saudari Novia Annisa yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kepada saudari Kanaya Aghizadema Suratman yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa dalam menyelesaikan tugas ini.

Akhir kata, besar harapan penulis semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pihak lain pada umumnya. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karenanya kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis untuk menyempurnakan tugas akhir ini.

Bandung, Juli 2025

Penulis

ABSTRAK

Kualitas *geometric error* produk hasil 3D *printing* sangat dipengaruhi oleh *geometric error* mesin 3D *printing*, tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai *geometric error* pada mesin 3D *printing* dilakukan pengujian dengan membuat spesimen uji untuk mengkaji nilai *geometric error* mesin 3D *printing*, spesimen uji di buat sesuai dengan standar ISO/ASTM 52902: 2019, menggunakan material resin rigid 4000 V1. Menggunakan pendekatan secara tidak langsung (*indirect method*), pengukuran dimensi dilakukan menggunakan *Coordinate Measuring Machine* (CMM) data yang diperoleh dianalisis berdasarkan standar ISO 230-2:2006 dan ISO 10791-4:1998 untuk mengevaluasi akurasi, *repeatability*, dan penyimpangan geometri. Pengukuran dilakukan pada parameter posisi linier, kelurusan, kebulatan, diameter, dan konsentrisitas. Hasil penyimpangan spesimen uji yang terukur di bandingkan status penyimpangan pada standar ISO/ASTM 52902:2019 dan ISO 10791-4:1998. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa parameter melebihi toleransi ISO/ASTM 52902:2019, yaitu posisi linier sumbu x (0,23 mm), y (0,27 mm), z (0,24 mm), kelurusan sumbu y (0,30 mm), dan konsentrisitas (0,08 mm). Sementara itu, parameter yang memenuhi toleransi meliputi kelurusan sumbu x (0,18 mm), kebulatan (0,04 mm), diameter luar (0,11 mm), dan diameter dalam (0,14 mm). Analisis berdasarkan ISO 230-2 menunjukkan bahwa semua parameter akurasi dan *repeatability* memenuhi standar ISO 10791-4 dengan deviasi di bawah 22 μm . metode *indirect assessment* efektif untuk mengidentifikasi *geometric error* pada mesin 3D *printing* berbasis resin. Faktor dominan penyimpangan berasal dari deformasi spesimen akibat ketebalan alas kurang dari 10 mm dan penyusutan resin selama proses *curing*. Rekomendasi yang diberikan berupa optimasi desain spesimen dan kalibrasi mekanisme gerak mesin untuk meningkatkan akurasi cetak.

Kata Kunci: Penyimpangan geometri, 3D *printing*, Formlabs Form3L, ISO/ASTM 52902, CMM, *additive manufacturing*.

ABSTRACT

The quality of geometric error of 3D printing products is greatly influenced by the geometric error of the 3D printing machine, to determine the value of geometric error on a machine tool. Testing is carried out by making test specimens to assess the geometric error value of the 3D printing machine, the test specimens are made according to the ISO / ASTM 52902: 2019 standard, using rigid resin material 4000 VI. Using an indirect approach (indirect method), dimensional measurements are carried out using a Coordinate Measuring Machine (CMM) the data obtained are analyzed based on the ISO 230-2: 2006 and ISO 10791-4: 1998 standards to evaluate accuracy, repeatability, and geometric deviations. Measurements are made on linear position parameters, straightness, roundness, diameter, and concentricity. The results of the deviation of the test specimen are compared to the deviation status in ISO 10791-4: 1998. The results showed that several parameters exceeded the tolerance of ISO/ASTM 52902:2019, namely the linear position of the x-axis (0.23 mm), y-axis (0.27 mm), z-axis (0.24 mm), y-axis straightness (0.30 mm), and concentricity (0.08 mm). Meanwhile, parameters that met the tolerance included x-axis straightness (0.18 mm), roundness (0.04 mm), outer diameter (0.11 mm), and inner diameter (0.14 mm). Analysis based on ISO 230-2 showed that all accuracy and repeatability parameters met the ISO 10791-4 standard with deviations below 22 μm . The indirect assessment method is effective for identifying geometric errors in resin-based 3D printing machines. The dominant factors of deviation come from specimen deformation due to the base thickness of less than 10 mm and resin shrinkage during the curing process. Recommendations are given in the form of optimizing the specimen design and calibrating the machine's motion mechanism to improve printing accuracy.

Keywords: Geometry Deviations, 3D Printing, Formlabs Form3L, ISO/ASTM 52902, CMM, Additive Manufacturing.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR DIAGRAM	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	I.1
I.1 Latar Belakang.....	I.1
I.2 Rumusan Masalah.....	I.3
I.3 Batasan Masalah	I.3
I.4 Tujuan & Manfaat.....	I.4
I.5 Sistematika Penulisan	I.4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II.1
II.1 Tinjauan Pustaka.....	II.1
II.1.1 <i>Advance Manufacturing</i>	II.1
II.1.2 Jenis – Jenis Mesin 3D Printing	II.3
II.1.3 Mekanisme Mesin 3D Printing.....	II.4

II.2 <i>Stereolitografi</i> (SLA).....	II.5
II.2.4 Material Resin	II.10
II.3 Penyimpangan Geometri	II.11
II.3.1 Fitur Umum Penyimpangan Geometri pada Mesin 3D Printing	II.12
II.3.1.1 Ketelitian Sumbu Tunggal.....	II.13
II.3.1.2 Ketelitian Antar Sumbu	II.17
II.4 Standarisasi Penyimpangan Geometri	II.18
II.4.1 ISO/ASTM 52902: 2019	II.19
II.4.2 ISO 230-2: 2006	II.22
II.4.3 ISO 10791-4 :1998	II.28
II.5 Tinjauan Alat.....	II.30
II.5.1 CMM	II.30
II.5.2 3D Scan	II.31
II.6 Tinjauan <i>Software</i>	II.32
II.6.1 PreForm	II.32
II.6.2 SolidWorks	II.32
II.6.3 Minitab	II.33
II.7 Studi Penelitian Terdahulu.....	II.33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III.1
III.1 Diagram Alir Metode Penelitian	III.1
III.2 Instrumen Penelitian.....	III.2
III.2.1 Tempat Penelitian.....	III.2
III.2.2 Objek Penelitian.....	III.2
III.2.3 Alat Penelitian	III.3
III.2.4 Material Benda Kerja	III.7
III.3 Rancangan Penelitian.....	III.8

III.3.1 <i>Design</i> Spesimen.....	III.8
III.3.2 <i>Slicing And Printing Preperation</i>	III.9
III.3.3 <i>Post Procesing Printing</i>	III.10
III.3.4 Skema Pengukuran Dimensi Menggunakan CMM	III.10
III.3.5 Perhitungan Nilai Penyimpangan.....	III.14
III.3.6 Perhitungan Akurasi dan Repeatibility....	IIIError! Bookmark not defined.14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV.1
IV.1 Hasil Pengukuran Menggunakan CMM.....	IV.1
IV.1.1 Hasil Perbandingan Kesalahan Posisi ISO/ASTM 52902: 2019 :2019 ...	IV.6
IV.1.2 Hasil Perbandingan Kesalahan Posisi ISO 230-2 Dengan ISO 10791-4 .	IV.6
IV.1.3 Hasil Perbandingan Kesalahan Kelurusan ISO/ASTM 52902: 2019.....	IV.14
IV.1.4 Hasil Perbandingan Kesalahan Kebulatan ISO/ASTM 52902: 2019.....	IV.15
IV.1.5 Hasil Perbandingan Kesalahan Diameter ISO/ASTM 52902: 2019	IV.15
IV.1.6 Hasil Perbandingan Kesalahan Kosentriksitas ISO/ASTM 52902: 2019	IV.16
IV.2 Perbandingan Dengan Ketelitian Mesin 3D <i>Printing</i>	IV.16
IV.2.1 Hasil Perbandingan Kesalahan Posisi dengan Ketelitian Mesin 3D <i>Printing</i>	IV.16
IV.2.2 Hasil Perbandingan Kesalahan Kelurusan dengan Ketelitian Mesin 3D <i>Printing</i>	IV.17
IV.2.3 Hasil Perbandingan Kesalahan Kebulatan dengan Ketelitian Mesin 3D <i>Printing</i>	IV.18
IV.2.4 Hasil Perbandingan Kesalahan Diameter dengan Ketelitian Mesin 3D <i>Printing</i>	IV.18
IV.2.5 Hasil Perbandingan Kesalahan Kosentriksitas dengan Ketelitian Mesin 3D <i>Printing</i>	IV.19
BAB V PENUTUP	V.1

V.1 Kesimpulan.....	V.1
V.2 Saran	V.2
III. DAFTAR PUSTAKA	xx

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Printer 3 Dimensi dan bagian-bagiannya (Li,Z.2018).....	II.2
Gambar II. 2 Jenis Jenis <i>Rapid Prototypeing</i>	II.2
Gambar II. 3 3D Printer Stereolitografi (Fromlab).....	II.6
Gambar II. 4 Bagian Bagian Mesin Formlabs Form3L.....	II.7
Gambar II. 5 Proses <i>Printing</i> Mesin SLA.....	II.8
Gambar II. 6 Resin Rigid 4000 (Formlabs).....	II.10
Gambar II. 7 Ketelitian Geometrik Sumbu Tunggal.....	II.14
Gambar II. 8 Penyimpangan Posisi pada mesin 3D printing.....	II.14
Gambar II. 9 Penyimpangan Kelurusan (<i>Strightness</i>) pada mesin 3D printing.....	II.15
Gambar II. 10 Penyimpangan gerak rotasi pada mesin 3D printing.....	II.15
Gambar II. 11 Ketelitian Geometri antar sumbu mesin 3D printing.....	II.17
Gambar II.12 ISO/ASTM 52902 Contoh konfigurasi tolak ukur untuk menilai akurasi dan resolusi mesin/proses AM.....	II.20
Gambar II. 13 Artefak patokan tekstur permukaan ISO/ASTM 52902 dengan berbeda sudut kemiringan.....	II.21
Gambar II. 14 Integrasi pelabelan ISO/ASTM 52902 untuk artefak <i>benchmark</i>	II.21
Gambar II. 15 CMM MITUTOYO.....	II.30
Gambar II. 16 Creaform MetraSCAN 3D.....	II.31
Gambar III. 1 Mesin Formlabs Form3L.....	III.2
Gambar III. 2 Mesin CMM Mitutoyo BHN 706.....	III.4
Gambar III. 3 Mesin CMM Cimcore INFINITE 2.0.....	III.5
Gambar III. 4 Creaform MetraSCAN3D.....	III.6
Gambar III. 5 Gambar Kerja Spesimen Uji.....	III.8
Gambar III. 6 Gambar Kerja Isometri Spesimen 3d <i>Printing</i>	III.9
Gambar III. 7 Design Spesimen 3D <i>Print</i>	III.9
Gambar III. 8 Slicing Preparation dengan <i>software</i> PreForm.....	III.10
Gambar III. 9 Skema Pengukuran Spesimen pada CMM.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Spesifikasi Rigid Resin (Matweb).....	II.10
Tabel II. 2 Kesalahan Geometri Mesin Perkakas	II.12
Tabel II. 3 Contoh Fitur Umum yang Digunakan untuk Menilai Kemampuan Geometrik Utama (Toguem Tange,2018).....	II.13
Tabel II. 4 Penyimpangan ISO/ASTM 52902: 2019.....	II.19
Tabel II. 5 Toleransi Linear dan Circular ISO/ASTM 52902: 2019	II.21
Tabel II. 6 Persyaratan Ketelitian Geometri Berdasarkan ISO 10791-4:1998...II.29	
Tabel II. 7 Persyaratan Ketelitian Geometri Sumbu Rotasi Berdasarkan ISO 10791-4:1998.....	II.29
Tabel II. 8 Studi Penelitian Terdahulu.....	II.34
Tabel III. 1 Spesifikasi Mesin From3L	III.3
Tabel III. 2 Spesifikasi Mesin CMM Mitutoyo BHN 706	III.4
Tabel III. 3 Spesifikasi CMM Cimcore INFINITE 2.0	III.6
Tabel III. 4 Spesifikasi Creaform 3D Scanner	III.7
Tabel III. 5 Spesifikasi Resin Rigid 4000 (Formlabs).....	III.7
Tabel III. 6 Skema pengukuran detail fitur spesimen uji geometri	III.11
Tabel IV. 1 Hasil Pengukuran Posisi Linear Sumbu x	IV.1
Tabel IV. 2 Hasil Pengukuran Kelurusan Sumbu x.....	IV.2
Tabel IV. 3 Hasil Pengukuran Circular Kebulatan	IV.3
Tabel IV. 4 Hasil Pengukuran Circular Diameter.....	IV.4
Tabel IV. 5 Hasil Pengukuran Circular Kosentrisitas.....	IV.5
Tabel IV. 6 Hasil Perbandingan Kesalahan Posisi Sumbu Linear x, y & z Dengan ISO/ASTM 52902: 2019	IV.6
Tabel IV. 7 Hasil Perbandingan Kesalahan Posisi Sumbu X ISO 230-2 Dengan ISO 10791-4	IV.7
Tabel IV. 8 Hasil Perbandingan Kesalahan Posisi Sumbu y ISO 230-2 Dengan ISO 10791-4	IV.9
Tabel IV. 9 Hasil Perbandingan Kesalahan Posisi Sumbu z ISO 230-2 Dengan ISO 10791-4	IV.11

Tabel IV. 10 Hasil Perbandingan Kesalahan Kelurusan Sumbu X Dengan ISO/ASTM 52902: 2019	IV.14
Tabel IV. 11 Hasil Perbandingan Kesalahan Kelurusan Sumbu y Dengan ISO/ASTM 52902: 2019	IV.14
Tabel IV. 12 Hasil Perbandingan Kesalahan Kebulatan Dengan ISO/ASTM 52902: 2019.....	IV.15
Tabel IV. 13 Hasil Perbandingan Kesalahan Diameter Luar Dengan ISO/ASTM 52902: 2019.....	IV.15
Tabel IV. 14 Hasil Perbandingan Kesalahan Diameter Dalam Dengan ISO/ASTM 52902: 2019.....	IV.15
Tabel IV. 15 Hasil Perbandingan Kesalahan Kosentriksitas Dengan ISO/ASTM 52902: 2019.....	IV.16
Tabel IV. 16 Perbandingan Kesalahan Posisi Sumbu X, y & z Spesimen Dengan Ketelitian Mesin 3D Printing	IV.16
Tabel IV. 17 Perbandingan Kesalahan Kelurusan Sumbu x Spesimen Dengan Ketelitian Mesin 3D Printing	IV.17
Tabel IV. 18 Perbandingan Kesalahan Kelurusan Sumbu y Spesimen Dengan Ketelitian Mesin 3D Printing	IV.17
Tabel IV. 19 Perbandingan Kesalahan Kebulatan Spesimen Dengan Ketelitian Mesin 3D Printing.....	IV.18
Tabel IV. 20 Perbandingan Kesalahan Diameter Luar Spesimen Dengan Ketelitian Mesin 3D Printing.....	IV.18
Tabel IV. 21 Perbandingan Kesalahan Diameter Dalam Spesimen Dengan Ketelitian Mesin 3D Printing.....	IV.18
Tabel IV. 22 Perbandingan Kesalahan Kosentriksitas Spesimen Dengan Ketelitian Mesin 3D Printing.....	IV.19

DAFTAR DIAGRAM

Diagram III. 1 Diagram Alir Penelitian.....	III.1
---	-------

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Hasil Pengukuran CMM Posisi Sumbu X, Y, Z
LAMPIRAN A.1	Hasil Pengukuran CMM Kelurusan Sumbu X, Y
LAMPIRAN A.2	Hasil Pengukuran CMM Kebulatan
LAMPIRAN A.3	Hasil Pengukuran CMM Diameter
LAMPIRAN A.4	Hasil Pengukuran CMM Kosentriksitas
LAMPIRAN B	Perbandingan Posisi Sumbu X, Y, Z dengan ISO/ASTM 52902: 2019
LAMPIRAN B.1	Perbandingan Kelurusan Sumbu X, Y dengan ISO/ASTM 52902: 2019
LAMPIRAN B.2	Perbandingan Kebulatan dengan ISO/ASTM 52902: 2019
LAMPIRAN B.3	Perbandingan Diameter dengan ISO/ASTM 52902: 2019
LAMPIRAN B.4	Perbandingan Kosentriksitas dengan ISO/ASTM 52902: 2019
LAMPIRAN C	Perhitungan Posisi Sumbu X, Y, Z ISO 230-2
LAMPIRAN D	Hasil Pengukuran Menggunakan 3D <i>Scanner</i>
LAMPIRAN E	Gambar Kerja Spesimen Uji Penyimpangan Geometri 3D <i>Printing</i>

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

δ	= Kesalahan Linear (Penyimpangan Jarak)
ε	= Kesalahan Sudut [Penyimpangan orientasi sudut (Pitch, Yaw, Roll)]
Φ	= Kesalahan Ketegaklurusan (Deviasi sudut 90° antar sumbu)
θ	= Kesalahan Posisi Potasi (Penyimpangan sudut pada sumbu putar)
P_i	= Posisi Target
P_{ij}	= Posisi Aktual
$[\uparrow\downarrow]$	= <i>Unidirectional</i> (Posisi pengukuran Maju/Mundur)
X_{ij}	= Deviasi Posisi
\bar{x}_i	= Deviasi Posisi Rata-rata pada Suatu Posisi
E	= Deviasi Posisi Sistematis Suatu Sumbu
M	= Deviasi Posisi Dua Arah Rata-rata dari Suatu Sumbu
B_i	= Nilai Pembalikan pada Posisi A
B	= Nilai Pembalikan Sumbu
B^-	= Nilai Pembalikan Rata-rata Sumbu
S_i	= Estimator untuk Sumbu <i>Unidirectional</i>
R	= Pengulangan
A	= Akurasi
DS	= Design Spesimen
NU	= Nilai Hasil Ukur
D	= Deformasi
AM	= <i>additive manufacturing</i>
DMD	= <i>direct metal deposition</i>

IJM = *inkjet modeling*
SLS = *selective laser sintering*
SLA = *stereo-litography*
FDM = *fused deposition modeling*
CMM = *coordinate measureing machine*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di era modern ini sangatlah pesat dan signifikan terutama pada industri manufaktur yang memiliki peran penting dalam membantu segala aktivitas manusia menjadi mudah. Industri manufaktur memiliki teknologi 3D *printing* menjadi salah satu teknologi yang handal dan revolusioner dengan teknik *Additive Manufacturing* (AM) untuk membuat objek tiga dimensi, meskipun struktur kompleks yang tidak mudah dibuat dengan teknologi konvensional. Beberapa sistem *additive manufacturing* yang sering digunakan di industri, antara lain: *direct metal deposition* (DMD), *inkjet modeling* (IJM), *selective laser sintering* (SLS), *stereo-lithography* (SLA) dan *fused deposition modeling* (FDM).

Stereolitografi atau pencetakan "SLA" merupakan teknologi pencetakan 3D yang awal dan banyak digunakan. Pada awal 1980-an, peneliti Jepang Hideo Kodama pertama kali menemukan pendekatan berlapis modern untuk stereolitografi dengan menggunakan sinar ultraviolet untuk mengeringkan polimer fotosensitif. Pada tahun 1984, tepat sebelum Chuck Hull mengajukan patennya sendiri, Alain Le Mehaute, Olivier de Witte, dan Jean Claude André mengajukan paten untuk proses stereolitografi. Permohonan paten penemu Prancis tersebut dibatalkan oleh Perusahaan General Electric Prancis (sekarang Alcatel-Alsthom) dan CILAS (The Laser Consortium). Le Mehaute yakin bahwa pembatalan tersebut mencerminkan masalah inovasi di Prancis. Istilah "stereolitografi" (bahasa Yunani: stereo-solid dan litografi) dicetuskan pada tahun 1984 oleh Chuck Hull saat ia mengajukan paten untuk proses tersebut. Hull mematenkan *stereolitografi* sebagai metode pembuatan objek 3D dengan mencetak lapisan tipis objek secara berurutan menggunakan media yang dapat diawetkan dengan sinar ultraviolet, mulai dari lapisan bawah hingga lapisan atas. Paten Hull menggambarkan seberkas sinar ultraviolet terkonsentrasi yang difokuskan ke permukaan tong berisi fotopolimer cair. Berkas difokuskan ke permukaan fotopolimer cair, menciptakan setiap lapisan objek 3D yang diinginkan melalui ikatan silang (pembentukan ikatan antarmolekul dalam polimer). Metode ini diciptakan dengan tujuan agar para insinyur dapat membuat

prototipe desain mereka dengan cara yang lebih hemat waktu. Setelah paten diberikan pada tahun 1986, Hull mendirikan perusahaan pencetakan 3D pertama di dunia, *3D Systems*, untuk mengomersialkannya.

Keberhasilan stereolitografi dalam industri otomotif memungkinkan pencetakan 3D mencapai status industri dan teknologi ini terus menemukan penggunaan inovatif dalam banyak bidang studi. Upaya telah dilakukan untuk membangun model matematika dari proses stereolitografi dan merancang algoritma untuk menentukan apakah objek yang diusulkan dapat dibangun menggunakan pencetakan 3D.

Menurut data dari (Tian-Jian Li,2022) hubungan antara kesalahan geometri objek cetak dan kesalahan kinematik printer 3D ditetapkan berdasarkan teori system multi-body oleh karena itu dengan mengukur kesalahan geometri artefak uji cetak, kesalahan kinematik printer 3D dapat diidentifikasi, Dua pendekatan kompensasi efektif disajikan untuk mendapatkan nilai kesalahan kinematik. Salah satunya adalah dengan menerapkan pencocokan kurva pada kesalahan kinematik diskrit yang telah dihitung, dan yang lainnya adalah menggunakan nilai rata-rata kesalahan kinematik diskrit. Kompensasi dengan nilai rata-rata memberikan cara yang lebih efisien untuk menghitung kesalahan kinematik, yang dapat mencapai kompensasi efektif dengan komputasi yang lebih sedikit. Dibandingkan dengan model asli dalam studi kasus, kesalahan geometri maksimum yang dikompensasi oleh kurva yang dipasang berkurang masing-masing sebesar 61,42%, 68,75%, dan 52,22% pada sumbu x , y , dan z . Dikompensasi oleh nilai kesalahan kinematik rata-rata, kesalahan geometri maksimum berkurang masing-masing sebesar 50,81%, 50,03%, dan 48,82% pada sumbu x , y , dan z [2].

Menurut data dari (Pritiansyah,2019) deviasi geometri bervariasi dari -0,08 mm hingga +0,14 mm. Sedangkan deviasi posisi berada di rentang -0,08 mm hingga +0,12 mm. Berdasarkan data deviasi yang dihasilkan dari perbandingan di atas, maka pembuatan objek 3D printing dapat disesuaikan dengan simpangan masing-masing. Hal ini menjadi penting untuk mendapatkan objek dengan akurasi yang maksimal sehingga proses perakitan komponen dapat dilakukan dengan mudah dan sesuai dengan peruntukannya [1].

Kualitas *geometric error* produk hasil 3D printing sangat dipengaruhi oleh *geometric error* mesin 3D printing, untuk mengetahui nilai dari *geometric error* pada suatu mesin perkakas, maka perlu dilakukan kegiatan pengujian ketelitian geometri. Dilakukan pengujian dengan membuat spesimen uji untuk mengkaji nilai *geometric error* mesin 3D printing, spesimen uji di buat sesuai dengan standar ISO/ASTM 52902: 2019. Hasil penyimpangan spesimen uji tersebut di bandingkan status penyimpangan pada ISO 10791-4: 1998.

Dari konsep tersebut, penulis akan melakukan penelitian untuk tugas akhir yang berjudul, “Kajian Experimental Penyimpangan Geometri Pada Mesin 3D Printing” melalui pendekatan pengukuran *indirect* atau pengukuran *geometric error spesimen/* benda uji hasil printingnya.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, maka yang menjadi rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat spesimen 3d *printing* yang dapat mengukur parameter *geometric error* pada mesin 3d *printing* sesuai dengan standar ISO/ASTM 52902: 2019?
2. Bagaimana mengidentifikasi nilai *geometric error* dan status nilai *geometric error* 3d *printing*?
3. Bagaimana mengidentifikasi status kelayakan *geometric error* mesin 3d *printing* dengan toleransi yang di tetapkan dalam standar ISO/ASTM 52902 dan ISO 10791-4:1998?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Mesin 3D *printing* yang digunakan FormLabs Form3L
2. Material yang digunakan resin *Rigid 4000 V1*
3. Temperatur cetak diasumsikan sesuai dengan jenis *resin* yang digunakan.
4. Pengukuran benda kerja spesimen uji/hasil printing menggunakan CMM.

5. Penyimpangan *geometric error* yang diidentifikasi difokuskan hanya pada parameter akurasi standar ISO/ASTM 52902: 2019.

I.4 Tujuan & Manfaat

Tujuan dari pembuatan penelitian ini sebagai berikut;

1. Merancang spesimen 3d *printing* yang dapat mengukur parameter *geometric error* pada mesin 3d *printing* sesuai dengan standar ISO/ASTM 52902: 2019.
2. Mengidentifikasi nilai *geometric error* dan status nilai *geometric error* 3d *printing*.
3. Mengidentifikasi status kelayakan *geometric error* mesin 3d *printing* dengan membandingkan hasil pengukuran penyimpangan spesimen uji terhadap toleransi yang ditetapkan dalam standar ISO/ASTM 52902 dan ISO 10791-4:1998, sehingga dapat ditentukan apakah mesin masih dalam batas toleransi yang dapat diterima (*in tolerance*) atau di luar toleransi (*out of tolerance*).

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut, diantaranya:

1. Menghasilkan referensi untuk penelitian *geometric error* pada mesin 3D *printing*.
2. Menambah pengetahuan tentang *geometric error* pada mesin 3D *printing*.

I.5 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan karya tulis ilmiah ini penulis menggunakan sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN, berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI, berisi mengenai teori yang mendukung dan berkaitan dalam proses pengukuran, analisa, dan penyimpangan geometri benda cetak 3D *printing*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN, berisi mengenai rancangan dari seluruh kegiatan pengukuran, analisa, dan penyimpangan geometri benda cetak 3D *printing*.

BAB IV HASIL PENELITIAN, berisi mengenai hasil pengukuran, dan hasil analisa penyimpangan, penyimpangan geometri benda cetak 3D *printing*.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil seluruh kegiatan dari proses analisis penyimpangan geometri pada benda cetak *3D printing*.